

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНКБ

Направление подготовки 12.03.01. - Приборостроение

Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Вибродиагностика электрических машин	

УДК 620.178.5:621.313

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б31	Голойденко Анна Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОКД	Степанов А.Б.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Спицын В. В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Ю. В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения по программе

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критерии АИОР
P1	Работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3; ОПК-4, 8) CDIO Syllabus (2.3, 3.1, 3.2, 4.7, 4.8) Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
P2	Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-7, 8; ОПК-1, 3, 10) CDIO Syllabus (1.1., 2.5) Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5, 4.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
P3	Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде, в обществе, в т.ч. межкультурном уровне и на иностранном языке	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, 5, ОПК-8, ПК-17) CDIO Syllabus (3.2) Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
P4	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-6) CDIO Syllabus (2.4) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
P5	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОПК-2, 5-9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
	инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	№1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
Р6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОПК-5, 6, ПК-1-4). CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 2.3, 2.4) Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
Р7	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ПК-1-6, 8) CDIO Syllabus (1.2., 1.3, 2.4, 4.1, 4.4) Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
Р8	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ПК-8-18) CDIO Syllabus (2.4, 4.2, 4.3, 4.5) Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н
Р9	Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ПК-7, 19-23) CDIO Syllabus (4.6.) Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI <u>Требования профессиональных стандартов</u> 19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н 40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н 19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н 19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н 06.005 Инженер-радиоэлектроник №315н 40.158. Специалист по проектированию систем в корпусе №181н

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНКБ

Направление подготовки 12.03.01. - Приборостроение

Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мойзес Б.Б.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Б31	Голойденко Анне Сергеевне

Тема работы:

Вибродиагностика электрических машин
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Режим работы непрерывный. Диапазон измерения: виброперемещение от 0,1 мкм до 10000 мкм, виброскорость 0,01 мм/с до 1000 мм/с, виброускорение от 0,02 м/с ² до 1000 м/с ² .
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Характеристика объекта измерения.2. Анализ методов и средств измерения вибрации электрических машин.3. Выбор метода и средства измерения вибрации Электрических машин.4. Требования к системам измерения вибрации.5. Выбор и обоснование структурной схемы измерительной системы.

	6. Вопросы социальной ответственности и финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
Перечень графического материала	Схема электрическая принципиальная Перечень элементов
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
--	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОКД	Степанов А.Б.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б31	Голойденко Анна Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 с., 8 рис., 23 табл., 8 источников.

Ключевые слова: вибрация, вибродиагностика, информационно-измерительная система, контроль, электрические машины, виброметр.

Объектом исследования является система контроля вибрации электрических машин.

Цель работы – выполнить анализ методов и средств измерений вибрации электрических машин, определить оптимальный метод контроля, разработать структурную схему информационно-измерительной системы контроля вибрации.

При исследованиях, проводимых по данной работе, осуществлялся анализ научной литературы, нормативной и технической документации существующих методов, средств измерений и контроля вибрации электрических машин. Рассматривались основные положения и требования метрологического сопровождения, для информационно – измерительных систем контроля вибрации, к проводимым измерениям вибрации.

Производился анализ элементов входящих в состав информационно – измерительных систем и их техническое назначение.

В результате проведенного исследования был выбран оптимальный метод и средство измерения для контроля вибрации электрических машин, проработана структурная схема, как возможный вариант информационно – измерительной системы.

Область применения: контроль вибрации электрических машин на промышленных предприятиях и производстве.

Экономическая значимость работы: заключается в возможном создании вибродиагностической системы, с максимальным набором функций определения дефектов, разнящихся по своей структуре и возможностью диагностирования срок наступления аварийного случая, что в дальнейшем

будет способствовать максимальной экономической эффективности планирования обслуживания и ремонта машин.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В работе использовались следующие термины и определения:

электрические машины: Устройство, преобразующее или механическую энергию в электрическую (генератор), или электрическую энергию в механическую (электродвигатель).

генератор: Устройство, производящее какие-либо продукты, вырабатывающее электроэнергию или преобразующее один вид энергии в другой.

электрический двигатель: Электрическая машина, в которой электрическая энергия преобразуется в механическую энергию.

ротор: Вращающаяся часть, двигателей и рабочих машин на которой, расположены органы получающие энергию от рабочего тела или отдающие её рабочему телу.

подшипник: Сборочный узел, являющийся частью опоры или упора и поддерживающий вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью.

техническая диагностика: Методы и средства оценки технического состояния машин, механизмов, оборудования, конструкций и других технических объектов, установление причин неисправностей, рекомендации по устранению причин неисправностей.

дефект: Изменение состояния объекта в процессе его изготовления, эксплуатации или ремонта, которое потенциально может привести к уменьшению степени его работоспособности.

мониторинг: Выполняемые без вмешательства в функционирование объекта процессы измерения, анализа и прогнозирования контролируемых параметров или характеристик объекта с отображением их во времени, сравнением с ретроспективными данными и с пороговыми значениями.

вибрация: Упругие механические колебания высокой частоты и малой амплитуды в технике (машинах, механизмах, конструкциях и др.)

уровень вибрации: Уровнем любой величины называется умноженный на определенный коэффициент логарифм отношения двух амплитудных значений этой величины, причем одно из значений часто является установленным опорным значением.

виброметрия: Совокупность средств и методов измерения величин, характеризующих вибрацию.

спектр колебаний (вибрации): Совокупность соответствующих гармоническим составляющим значений величины, характеризующей колебания (вибрацию), в которой указанные значения располагаются в порядке возрастания частот гармонических составляющих.

полоса частот: Совокупность частот в рассматриваемых пределах.

вибродиагностика: Метод неразрушающего контроля промышленного оборудования, основанный на измерении и анализе комплекса параметров вибрации.

датчик: Устройство, непосредственно принимающее и передающее специальными приборами данные о деятельности механизма, живого организма или других явлениях.

информационно-измерительная система: Совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки с целью представления потребителю в требуемом виде, либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации и др.

метод измерения: Совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности

средство измерения: Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормируемые метрологические характеристики.

контроль: Наблюдение за поведением системы с целью обеспечения оптимального функционирования (измерение достигнутых результатов и соотнесение их с ожидаемыми результатами).

структурная схема: Совокупность элементарных звеньев объекта и связей между ними, один из видов графической модели. Под элементарным звеном подразумевается часть объекта, системы управления и т.д..

В работе использовались ссылки на следующие стандарты:

ИСО 2954:1975 Механическая вибрация машин с вращательным и возвратно-поступательным движением. Требования к приборам для измерения интенсивности вибрации.

ИСО 7919-1:1996 Вибрация механическая машин без возвратно-поступательного движения. Измерения и оценка вибрации вращающихся валов. Часть 1. Общее руководство.

ИСО 8821:1989 Вибрация механическая. Балансировка. Метод для вала и компонентов, посаженных на него с помощью шпонки.

ИСО 10816-1:1995 Вибрация механическая. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие руководящие указания.

ИСО 10817-1:1998 Системы измерения вибрации вращающихся валов. Часть 1. Относительные и абсолютные измерения радиальной вибрации.

МЭК 60034-1:2004 Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики.

МЭК 60034-7:2001 Машины электрические вращающиеся. Часть 7. Классификация типов конструкций и монтажных устройств и положения распределительной коробки (код IM)

ГОСТ Р 52776-2007 (МЭК 60034-1-2004) Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики

ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях.

ГОСТ 24346-80 (СТ СЭВ 1926-79) «Вибрация. Термины и определения»

ГОСТ 25364-97. «Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации опор валопроводов и общие требования к проведению измерений»

ГОСТ ИСО 2954-97. «Вибрация машин с возвратно-поступательным и вращательным движением. Требования к средствам измерений»

ГОСТ ИСО 7919-3-2002. «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Промышленные машинные комплексы»

ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.

ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.

ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ 12.2.049-80. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

ГОСТ 12.4.124-83. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

ГОСТ 12.4.002-97. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний.

ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.

ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.

ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

Список условных сокращений:

ЭМ – электрическая машина

ЧЭ – чувствительный элемент

ИИС – информационно – измерительная система

ПО – программное обеспечение

Содержание

Введение	14
1 Характеристика объекта измерений	16
2 Анализ методов и средств измерения вибрации электрических машин	25
2.1 Метод спектрального анализа	26
2.2 Спектральный анализ огибающей	28
2.3 Метод ударных импульсов	31
2.4 Вейвлет – анализ	33
2.5 Анализ общего уровня вибрации.....	34
2.6 Метод прямого спектра	36
3 Выбор метода и средства измерений вибрации электрических машин	38
4 Требования к системам измерений вибрации электрических машин	40
5 Выбор и обоснование структурной схемы измерительной системы	46
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования	52
6.2 Анализ конкурентных технических решений	53
6.3 Технология QuaD	56
6.4 SWOT – анализ	58
6.5 Структура работ в рамках научного исследования	61
7. Социальная ответственность	65
7.1 Характеристика объекта исследования и области его применения	65
7.2 Производственная безопасность	67
7.2.1 Анализ выявленных вредных факторов на производстве	67
7.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	74
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	77
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
Заключение	80
Список литературы	81

Введение

В промышленном производстве, важны такие факторы как: надежность, качество оборудования и механизмов. Особо важными объектами являются электрические машины и их компоненты.

Основной причиной выхода из строя электрических машин является вибрация, вследствие чего происходят нарушения работы компонентов: подшипников, обмотки, коллектора, не исключено разрушение чугунной (стальной) оболочки и лапок фиксации.

Повышение уровня вибрации, свидетельствует о наличии неисправного элемента или механизма оборудования машины, что в свою очередь может привести к остановке производства, простоем оборудования, непреднамеренным расходам по ремонту и замене, в лучшем случае, а в худшем авариям и техногенным катастрофам.

Актуальным становится вопрос контроля вибрации и мониторинг работы электрических машин.

Особое место в техническом обслуживании электрических машин, занимает вибродиагностика, по причине, возможного обнаружения изменений в состоянии элементов оборудования, задолго до возникновения аварийной ситуации.

Контроль вибрации производится в соответствии с ГОСТ ИСО 10816–1–97. «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях», также ГОСТ Р ИСО 7919–1–2002 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах». Применение обоих стандартов способствует выбору более жесткого критерия ограничения дальнейшей эксплуатации оборудования.

Объектом исследования является система вибродиагностики электрических машин.

Предметом исследования является измерение вибрации электрических машин.

Основными проблемами вибродиагностики является: невозможность точной оценки качественно – технического состояния машин, и возможности прогнозирования остаточного ресурса детали и дальнейшей динамики развития дефекта. Существующие нормы позволяют только отслеживать предельные параметры, но не отслеживает дефекты на ранней стадии их развития.

Средством измерения вибрации является виброметр – измерительный прибор, преобразующий кинетическую энергию вибрации в электрический сигнал. В качестве датчиков прибора используют вихретоковые, емкостные, пьезоэлектрические, оптические, индукционные преобразователи виброперемещения, виброускорения и виброскорости.

Основной целью решения вопроса измерения вибрации электрических машин, является: анализ процессов вибрации различной природы, изучение современных методов диагностики и оценки технического состояния агрегата по параметрам вибрации. Выявление достоинств и недостатков, каждого изученного метода с последующим определением оптимально эффективного метода диагностики.

Подбор наиболее точного средства измерения согласно, выбранного метода, полностью соответствующего положениям регламентирующих стандартов, данного измерения.

Целью данной выпускной квалификационной работы является: определение технического функционирования элементов системы, объединение предъявляемых требований к измерительным средствам, выбор наиболее подходящего измерительного средства, которое представляет наиболее эффективный метод диагностики, и предложить структурную схему информационно – измерительной системы как возможный вариант реализации в дальнейшем.

1 Характеристика объекта измерений

Электрическая машина, представляет собой техническое устройство, преобразующее механическую энергию в электрическую (генератор) или электрическую в механическую (электродвигатель).

В электрических машинах происходит процесс преобразования энергии. По назначению выделяют два основных типа электрических машин это: электродвигатели и электрогенераторы. Электрогенераторы предназначены для образования электрической энергии, а электродвигатели механической.

Состоят электрические машины из неподвижных и подвижных частей.

К неподвижной части электрических машин относятся:

Статор (синхронные и асинхронные машины переменного тока) неподвижная часть электрических машин, взаимодействующая с ротором. На статоре двигателей постоянного тока, располагается обмотка возбуждения – индуктор.

Станина. Выполняет функции корпуса и магнитопровода.

Назначение станины как корпуса: крепление деталей машины; защита элементов от грязи, пыли и т.д.; защита подвижных элементов от возможного контакта с человеком;

Назначение станины как магнитопровода: Замыкание основного магнитного потока.

Станина изготавливается из стали высокой прочности по средствам литья, обладающей высокой магнитной проницаемостью.

Главные полюса. Функция главных полюсов заключается в создание магнитного поля (потока). Полюс состоит: Сердечник (магнитопровод); обмотка главных полюсов; полюсные наконечники.

Дополнительные полюса. Устанавливаются для улучшения работы машин больших мощностей, по устройству аналогичны главным полюсам.

Щетки со щеткодержателями. Осуществляют работу в двух режимах: режим генератора, движение электрического тока происходит от обмотки якоря через коллектор, щетки и идет к нагрузке во внешней цепи.

Режим электродвигателя, от внешнего источника питания через щетки на коллектор передается на обмотки якоря.

Боковые крышки с подшипниковыми узлами, служат для фиксации вала, и закрывают машину по бокам.

Подвижные части электрических машин.

Ротор – вращающаяся деталь, электрической машины, принимающая энергию от рабочего тела или передающая энергию рабочему телу.

Якорь – элемент электрической машины с рабочей обмоткой, подвижной частью магнитопровода, реле и электромагнитом. В синхронных машинах имеет название индуктор, в машинах постоянного тока – якорь, в асинхронных машинах является – ротором.

Вал – функция вала заключается в передаче крутящего момента и реакции на действующие силы от зафиксированных на нем деталей и опор.

Коллектор – выполняет функцию механического выпрямителя электрического тока, переменного в постоянный, в генераторе и как переключатель направления тока во вращающихся проводниках якоря, в электродвигателях.

Вентилятор – фиксируется на валу электрической машины, для ее воздушного охлаждения.

Процесс преобразования энергии в электрических машинах сопровождается такими явлениями как шум и вибрация. Все перечисленные выше элементы могут способствовать возникновению вибрации и шума.

Вибрацией называют механическое колебание тел, относительно их опорного равновесия.

Изменение уровня вибрации ЭМ, согласно: ГОСТ 20815-93, ГОСТ 20832, ГОСТ 16921 и ГОСТ 20815, свидетельствуют о наличии возникающих дефектов в работающей системе. Что в свою очередь приводит к досрочному

износу деталей, внеплановому ремонту и преждевременной выработки срока службы.

Для каждого случая изменения вибрации индивидуальны. Каждый процесс протекания вибрации содержит большое количество информации, правильное применение которой позволяет рационально использовать оборудование и устранять существующие дефекты.

Основные причины повышенной вибрации электрических машин: нарушение центровки валов турбины и генератора; нарушение соосности, оси вращения ротора к оси его инертности; магнитный дисбаланс ротора; тепловая деформация ротора или опоры; при подшипниках встроенных в корпус статора также возникает его тепловая деформация.

Постоянными источниками вибрации являются следующие узлы ЭМ: подшипники качения; подшипники скольжения; роторы; все виды механических передач; редукторы; электромагнитные системы; рабочие колеса, турбин, насосов и т.д..

Вибрация в элементах машин и оборудование возникает за счет внутренних возбуждающих сил, которые зависят от технического состояния агрегата в целом (наличие зазоров, допусков, контактов поверхности деталей при вращении и движении неуравновешенных элементов и деталей). Механические колебания небольшой амплитуды могут стать существенным источником вибрации, по причине возникновения резонансного колебания в элементах электрических машин.

Процесс вибрации сложен для полной единовременной диагностики всех деталей машины в процессе ее технической эксплуатации. По этой причине выделяют информацию, получаемую от объектов и точек контроля вибрации. В большинстве случаев контроль вибрации производится по трем ортогональным направлениям на опорах машин: горизонтально-поперечном, осевом и вертикальном.

Так как вибрация – это колебательный процесс, происходящий в механических системах, вибрацию можно характеризовать частотой (f) или

периодом (T) и амплитудой одного и из трех параметров: вибросмещение, виброускорение, виброскорости.

Частота колебаний (f):

$$f=1/T. \quad (1)$$

Амплитуда колебаний (A) – максимальное перемещение колеблющейся точки относительно положения покоя.

Вибросмещение $s(t)$ – определяет себя как мгновенное значение каждой из координат указывающей положение точки при ее колебательном движении.

Виброскорость, первая производная вибросмещения по времени:

$$v = \frac{ds(t)}{dt}. \quad (2)$$

Виброускорение, вторая производная вибросмещения по времени:

$$a = \frac{d^2s(t)}{dt^2}. \quad (3)$$

Резкость, это третья производная вибросмещения по времени:

$$r = \frac{d^3s(t)}{dt^3}. \quad (4)$$

Существует несколько видов вибрации. Колебательный процесс, при котором значение колеблющейся величины повторяется в одинаковой последовательности и за одинаковый период времени называют – периодической вибрацией, и можно представить следующим соотношением:

$$x(t) = x(t + iT), \quad (5)$$

где $i = \dots -2, -1, 0, +1, +2$; T – период колебаний.

Число колебаний в единицу времени или частотой колебаний называется величина обратная периоду колебаний, и имеет запись следующей формы:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (6)$$

Угловой частотой является число полных угловых колебаний за 2π единицы времени и измеряется в (рад/с), имеет вид записи:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = 0.1047n, \quad (7)$$

где n – число оборотов (колебаний) в минуту.

Частотным диапазоном называется непрерывная последовательность всех частот в интервале от нижней граничной частоты f_n до верхней f_e .

Октавой называется, ширина полосы часто для которой справедливо выражение $f_e = 2f_n$. Ширина диапазона k октав, будет при $f_e = 2^k f_n$. Такое дробление в акустике производится через $k = \frac{1}{12}; \frac{2}{12}; \dots; \frac{11}{12}$. Интервал где $k = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$ – является полуоктавой, а при $k = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$ – третьоктавой.

Периодическая вибрация, делятся на гармоническую и полигармоническую вибрации.

Гармоническая или синусоидальная вибрация, это периодическая вибрация с одной частотой, может быть, представлена частотным спектром и описана функцией времени. Если мгновенные значения колебательной величины пропорциональны синусу или косинусу линейной функции времени так, что

$$q = q_a \sin(\omega t + \varphi), \quad (8)$$

или

$$q = q_a \cos(\omega t + \varphi), \quad (9)$$

где q_a , ω и φ – постоянные величины, параметры гармонического колебания.

Мгновенное значение гармонической вибрации может быть получено как проекция на одну из осей прямоугольной системы координат вектора длины q_a , вращающегося против часовой стрелки в плоскости координат с угловой скоростью ω , равной угловой частоте получающегося колебательного движения [1].

Фазовым углом ($\omega t + \varphi$) является угол, образованный направлением вектора в данный момент с осью абсциссы. Это справедливо и для начальной фазы колебания φ . Графическое изображение данного процесса называется векторной диаграммой, и для упрощения понимания процесса, выполняется его изображение, показано на рисунке 1.

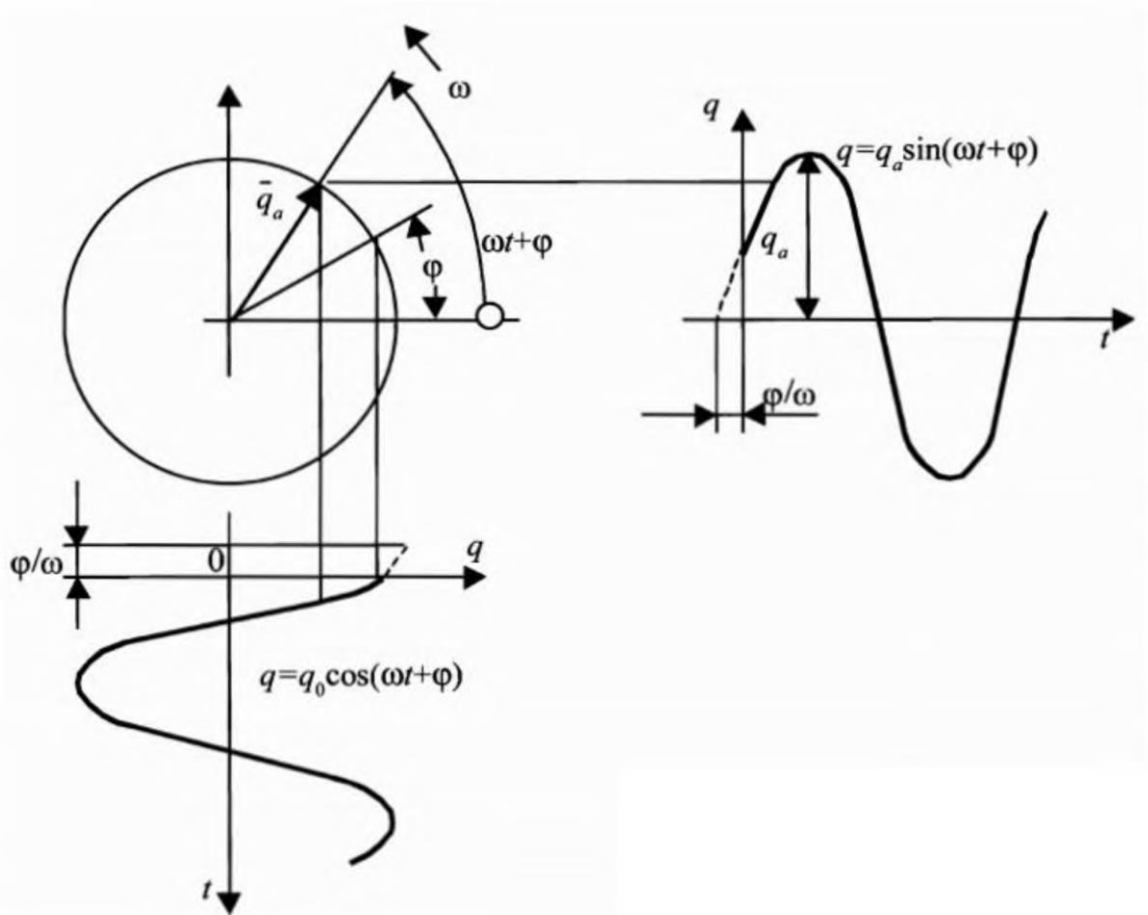


Рисунок 1– Гармонические колебания в виде проекции вращающегося вектора

Гармоническая вибрация, как и другие виды вибрации, описывается тремя колебательными величинами: виброперемещение s , виброскоростью v , виброускорением a . Которые связаны следующими формулами, в частности для механических смещений описываемых выражениями:

$$s = s_a \sin(\omega t + \varphi), \quad (10)$$

$$s = s_a \cos(\omega t + \varphi); \quad (11)$$

где s_a – амплитуда смещения, в свою очередь получается для скорости:

$$v = \omega s_a \cos(\omega t + \varphi) = v_a \cos(\omega t + \varphi) = v_a \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \quad (12)$$

$$v = -\omega s_a \sin(\omega t + \varphi) = -v_a \sin(\omega t + \varphi) = v_a \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right); \quad (13)$$

для ускорения:

$$\omega = \omega^2 s_a \sin(\omega t + \varphi) = -\omega_a \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 s, \quad (14)$$

$$\omega = -\omega^2 s_a \cos(\omega t + \varphi) = -\omega_a \cos(\omega t + \varphi) = -\omega^2 s; \quad (15)$$

для резкости:

$$r = -\omega^3 s_a \cos(\omega t + \varphi) = -r_a \cos(\omega t + \varphi) = r_a \sin\left(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}\right), \quad (16)$$

$$r = -\omega^3 s_a \sin(\omega t + \varphi) = -r_a \sin(\omega t + \varphi) = r_a \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}\right). \quad (17)$$

Вектор, изображающий скорость гармонического колебания опережает вектор смещения на $\pi/2$ но отстает от вектора ускорения на $\pi/2$. Тем самым виброперемещение и виброускорение находятся в противофазе.

Соотношение амплитуд смещения, скорости, ускорения и резкости можно записать как:

$$\frac{1}{\omega} = r_a = \omega_a = \omega \cdot v_a = \omega^2 s_a. \quad (18)$$

Два колебания одинаковой частоты называются синхронными. Для таких колебаний разность начальных фазовых углов называется сдвигом фаз. Если сдвиг фаз равен нулю, то гармонические колебания синфазные или находятся в фазе. Если же сдвиг фаз равен π , то гармонические колебания находятся в противофазе. Сопоставлять фазы гармонических колебаний имеет смысл только для синхронных – имеющих одинаковую частоту гармонических колебаний [1].

Составляющими полигармонической вибрация являются постоянная x_0 и множество синусоидальных гармоник с амплитудами x_n и начальными

фазами φ . Частота всех гармоник в данном случае равна основной частоте f_t [3].

Полигармоническая вибрация может быть описана функцией времени:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi f_1 t + b_n \sin 2\pi n f_1 t). \quad (20)$$

При исследовании полигармонической вибрации, используют величины связанные энергосодержанием колебаний, наиболее важными являются величины: среднеарифметическое, среднеквадратичное и пиковое значения колебательной системы.

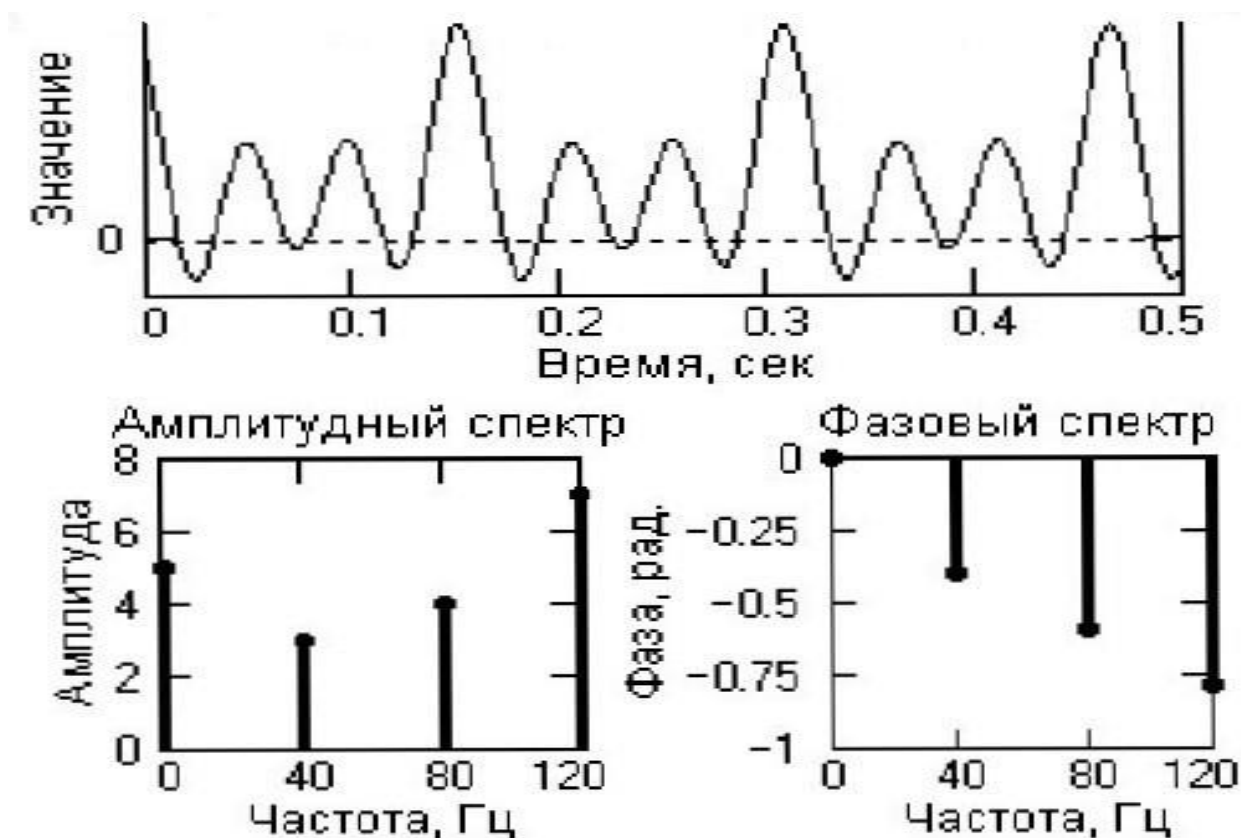


Рисунок 2 – Полигармонический сигнал, форма сигнала и его АЧХ

Простейшим детерминированным сигналом вибрации или его составляющей является гармонический сигнал, приведенный на рисунке 3:

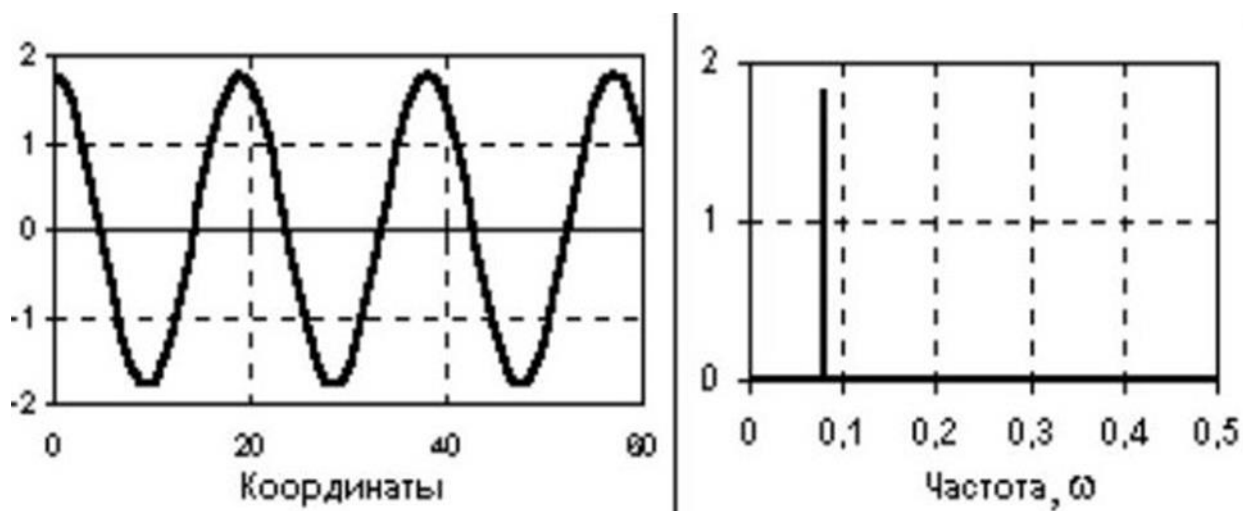


Рисунок 3 – гармонический сигнал и его АЧХ

$$x(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (21)$$

где $x(t)$ – текущее значение сигнала в момент времени t ; A_0 – амплитуда сигнала; ω_0 – круговая частота сигнала; φ_0 – начальная фаза сигнала.

Один из трех указанных параметров гармонической вибрации, определяющих ее форму, воспроизводит информации при диагностике. Исключением является начальная фаза сдвига, за счет того что информацию несет разность фаз колебаний одной частоты, измеряемые в разных точках или направлениях.

По параметрам вибрации можно выявить элементы машин и сопоставить им величину, которая является наиболее информативной при вибродиагностике (см. таблицу 1).

Таблица 1– Элементы оборудования и величины диагностики

Параметр вибрации	Элемент диагностики
Перемещение	Контроль низкооборотных механизмов
Виброскорость	Мониторинг, нормы вибрации широкого класса механизмов. Конструкционные дефекты
Виброускорение	Высокооборотные машины. Контроль и диагностика подшипников

2 Анализ методов и средств измерения вибрации электрических машин

Большая часть современных методов вибрационной диагностики основывается на вибрации работающего оборудования и машин. Данные методы являются основой для функциональной диагностики независимо от режима работы машин и оборудования, будь-то номинальный или специальный, переходной, пусковой, импульсный, аварийный, пост аварийный и т.п.

При исследовании вибрации электрических машин было выявлено, что наиболее сложную составляющую имеет колебательная сила, которая в отличие от колебательной системы, выражается не только в линейных, но и в нелинейных процессах. Кроме того анализ этих процессов формирующих колебательную силу, более информативен о состоянии механизмов и узлов агрегата. Что в свою очередь приводит к разработке и применению узкоспециализированных методов вибрационного контроля, которые сужают спектр поиска дефектов для конкретного узла или детали оборудования.

Вибрационная диагностика машин и оборудования осуществляется по средствам виброакустического метода диагностики.

Виброакустический метод контроля и диагностики основывается на анализе основных характеристик шума и вибрации.

Методы анализа виброакустических сигналов зависят от вида производимой диагностики тестовой или функциональной.

Тестовые методы диагностики производятся в искусственной среде возмущений с заданными характеристиками возбуждающие вибрацию оборудования и машин, по параметрам этой вибрации изменяющихся во времени и пространстве позволяет судить о техническом состоянии объекта. Это позволяет использовать тестовый метод как для работающих так и не работающих машин.

В функциональных методах используют вибрацию, возникающую непосредственно в процессе работы машины или оборудования в штатном режиме, но не исключен и сравнительный анализ вибрации в разных рабочих режимах.

Ниже более подробно рассматриваются основные методы анализа виброакустических сигналов, которые используются при функциональной диагностике оборудования и машин, без введения особого режима работы объектов.

Целью любого анализа измерения и контроля вибраций является получение необходимой информации о характеристиках и параметрах вибрации. Формирование диагностических заключений, на основе полученной информации о техническом состоянии контролируемого объекта.

2.1 Метод спектрального анализа

Спектральный анализ – это математический аппарат для исследования периодических процессов и выявления в них отдельных компонентов, имеющие характерные частоты [4].

Спектральный анализ наиболее часто используется при исследовании структуры вибрации, как наиболее информативный в обнаружении составляющих вибрации.

Существует ограничения в применение данного метода. Метод уместен для машин и оборудования, обладающего строгой периодичностью вращения, по крайней мере, за время порядка 5–10 периодов полного оборота контролируемого вращающегося узла.

Диагностическая информация простейших периодических сигналов содержится в следующих его параметрах: в периоде, амплитуде и форме соответственно в спектре сигнала это частота основной гармоники, амплитуда основной гармоники, соотношение амплитуд основной и кратных гармоник. Смысл метода заключается в разложении сложных по компонентам

составляющих (различной частоты, амплитуды, периодов) сигналов на отдельные простые частотные составляющие.

Чувствительные элементы приборов для данного вида диагностики выполняют из пьезоэлектрических элементов.

Достоинство спектрального анализа перед другими методами, является возможность обнаружения дефекта на ранней стадии образования и прогнозирования дальнейшего развития процесса разрушения, что позволяет принимать меры по предупреждению возникновения аварийной ситуации.

Достоинство данного метода:

- высокая помехозащищенность.

Недостатки метода спектрального анализа заключаются:

- в сложности аппаратной реализации: требуется спектр анализатор с качественным программным обеспечением, что в свою очередь вытекает в высокую стоимость прибора;

- метод малочувствителен к слабым и зарождающимся дефектам;

- результат некорректен при обработке нестационарных сигналов.

Как пример прибора по данному методу возьмем виброанализатор типа СД-12М со стандартным интерфейсом RS-232, от российского производителя ООО "Ассоциация ВАСТ" с техническими характеристиками, указанными в таблице 2.

Таблица – 2 Технические характеристики виброанализатора СД–12М

Тип датчиков	акселерометр ICP, зарядовый акселерометр, акселерометр с предусилителем.
Частотный диапазон	0 – 25600 (Гц)
Максимальная неравномерность АЧХ	+/- 0,5 (дБ)
Диапазон изменения напряжения на линейном входе	От – 3 до +3 (В)
Диапазон измерения (для параметров вибрации)	Виброперемещение (мкм) от 0,1 до 10000 Виброскорость (мм/с) 0,01 до 1000 Виброускорение (м/с ²) от 0,02 до 1000
Полосы пропускания для измерения вибрации	2...1000, 10...1000, 10...2000 (Гц) 2...200, 3...300, 5...500 (Гц) 10...5000, 5000...10000, 10000...25000 (Гц).
Граничные частоты	25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800, 25600 (Гц)
Динамический диапазон	70 (дБ), не ниже

Производством виброанализаторов занимаются следующие фирмы изготовители: «Bently Nevada, Inc.», США (SCOUT220-IS и COMMTEST220; Виброанализаторы портативные модели Scout 100 и Scout 140); ООО «НПЦ Динамика», г. Омск (Виброанализатор 8710); ООО «Диамех 2000», г. Москва (Виброанализатор «ТОПАЗ-В»); Фирма «Brueel & Kjaer», Дания (Виброанализатор 2526).

2.2 Спектральный анализ огибающей

Спектральный анализ огибающей один из эффективнейших методов диагностики зарождающихся дефектов, так как менее других подвержен помехам и имеет большую точность, чем и обусловлена его популярность применения. Не смотря на это, всего несколько фирм в мире обладают цифровыми методами выделения и анализа огибающей, большая часть фирм использует аналоговый метод выделения.

Спектральный анализ огибающей применяется для анализа медленных изменений мощности относительно быстрых процессов[2]. Относительно вибродиагностики ЭМ данный метод применяется при анализе как анализ свойств сил трения и ударных импульсов, представляющие подвижные процессы.

У данного метода диагностики есть ряд преимуществ, перед другими методами это: технология огибающей основывается на анализе высокочастотных вибраций, которая находится в пространстве непосредственно возле источника вибрации.

При измерении спектра огибающей вибрации диагностируемого узла, получают информацию именно с него, а не соседнего, как это может происходить при измерении низкочастотных вибраций. Дополнительно, спектр бездефектного узла не должен содержать гармонических составляющих, и при появлении хоть одной дополнительной линии свидетельствует о наличии дефекта. Спектр огибающей является относительным измерением, за счет него

определяют глубину модуляции m , точнее соотношение X_{min} и X_{max} уровней, пример такого отношения сил трения за оборот:

$$m(\%) = \frac{\{X_{max} - X_{min}\}}{\{X_{max} + X_{min}\}} 100\%. \quad (22)$$

Это дает возможность при однократном измерении говорить о величине дефекта.

В современных ПО спектральный анализ огибающей, является основным видом анализа диагностики высокочастотных случайных составляющих вибрации. Периодическая модуляция является показателем наличия дефекта как узлов трения, как подшипников или потокосоздающих узлов, так и других узлов. Вид дефекта определяют по частотам модуляций, а его величина по глубине модуляции.

Глубина проникновения связана с разностью ΔL уровней гармонической и случайной составляющих спектра огибающей выражением:

$$m = \sqrt{(10^{\Delta L/10} - 1) \cdot \frac{\Delta f_A}{\Delta f_\Phi}}. \quad (23)$$

Для визуального понимания приведем следующий пример, изображенный на рисунке 4 и 5.

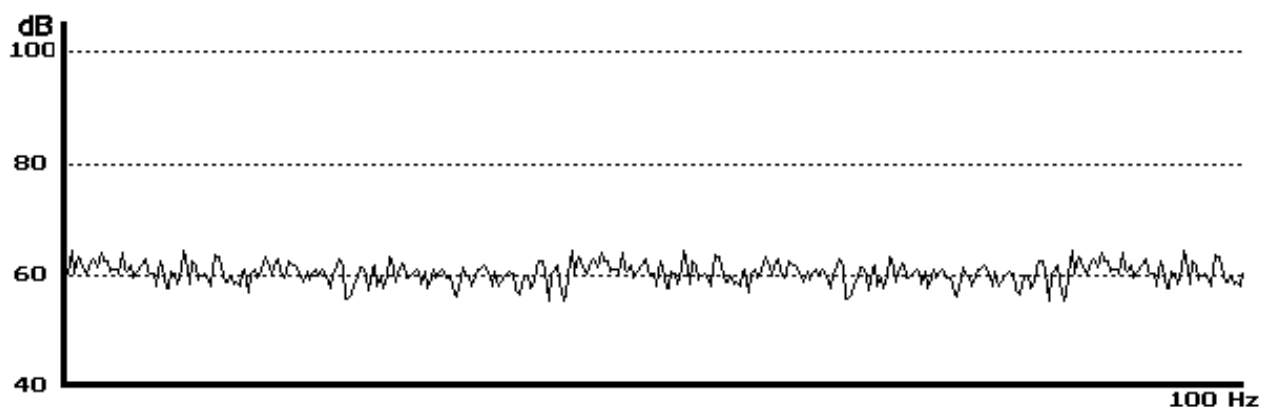
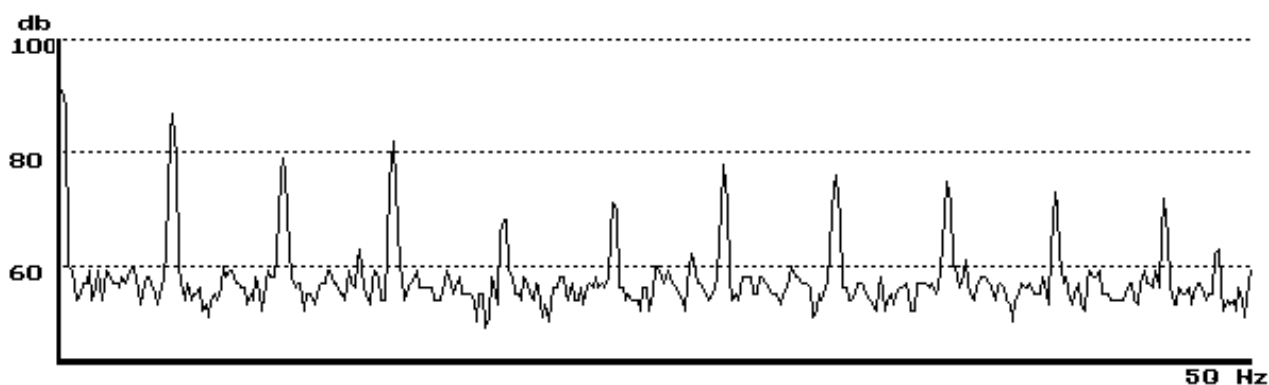


Рисунок – 4 Спектр огибающих сигналов высокочастотной вибрации, подшипник без дефекта



б)

Рисунок 5 – Спектр огибающих сигналов высокочастотной вибрации, подшипник с дефектом

Достоинством данного метода является:

- определение локации дефекта;
- высокая точность и достоверность определения вида дефекта и его величины.

К недостаткам можно отнести следующие факторы:

- высокая стоимость за счет комплектующих аппаратуры, сложность реализации;
- алгоритм обработки и анализ выполняется совместно с использованием дополнительной компьютерной техники.

Чувствительные элементы датчиков, для диагностики по данному методу выполняют как пьезоэлектрических, так и тензорезистивных ЧЭ. Применяемый прибор, для данного типа анализа – анализатор вибрации «КВАРЦ», производство «ДИАМЕХ» г. Москва, Россия с техническими характеристиками, указанными в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики анализатора вибрации «КВАРЦ»

Длина выборки сигналов:	256 - 4096
Измеряемые параметры при разгоне:	Общий уровень, эксцесс, пик-фактор, каскады спектров, амплитуда / фаза
Питание:	Аккумуляторы типа АА, 1,2 А/ч, сетевой блок питания
Частотный диапазон:	От 0,3...40000 Гц (зависит от типа используемого датчика)

Продолжение таблицы 3

Входы:	Основной: для акселерометра; Отметчик: для лазерного отметчика КР-020л или электромагнитного КЕ-010
Функции обработки результатов измерений:	Экссесс, форма сигналов, спектр, форма сигналов, спектры огибающих сигнала, спектры ударного возбуждения
Погрешность измерений:	Программируемая

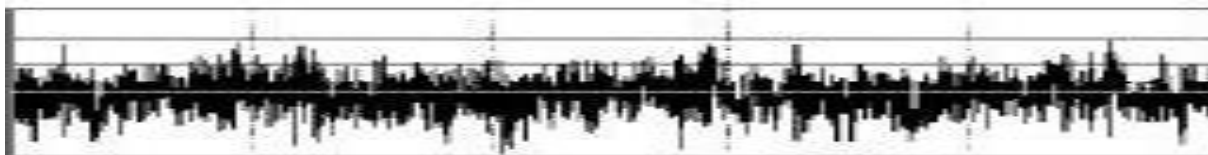
Фирмы производители выпускающие приборы данного класса:

«Fluke Corporation», г. Эверетт (штат Вашингтон), США (Измеритель вибрации Fluke 810); «АСОЕМ», г. Лимонест, Франция, (Виброанализатор OneproD FALCON); «Балтех Пкф», г. Санкт-Петербург, Россия (Виброанализатор CSI 2125; Виброанализатор CSI 2140); «ТЕХНЕКОН», г. Пермь, Россия (Виброанализатор STD-3300).

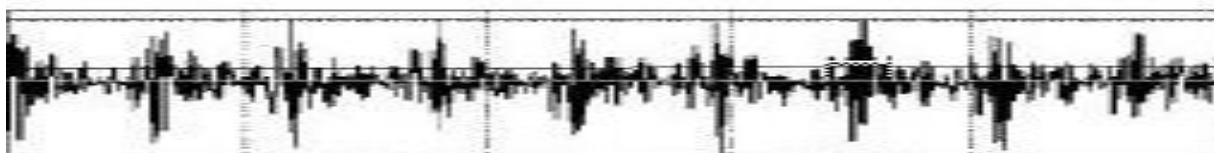
2.3 Метод ударных импульсов

Зарождающиеся дефекты не вызывают повышения общего уровня вибрации, что в свою очередь не является показателем их отсутствия. Метод ударных импульсов включает в себе следующие действия, зарождающийся дефект (рассмотрим на примере подшипников) вызывает появление ударных импульсов высокой частоты, что в свою очередь приводит к увеличению пиковых значений в высокочастотных сигналах вибрации. При этом среднеквадратические уровни могут быть неизменными. Диагностическим признаком является пик – фактор, за счет отношения пикового и среднеквадратического значения. Метод, основанный на измерении пик – фактора получил название: метод ударных импульсов.

На рисунке 6 (а, б) наглядно приведен принцип действия метода ударных импульсов, с временными высокочастотными сигналами вибрации подшипника бездефектного и дефектного.



а)



б)

Рисунок 6 – Высокочастотная вибрация исправного (а) и дефектного (б) подшипников качения

Достоинством метода является:

- отсутствие требования в строгой периодичности сигнала;
- высокая чувствительность;
- защищенность

Недостатки данного метода заключаются в следующем:

- не все зарождающиеся дефекты вызывают ударный импульс;
- отсутствие информации о виде дефекта, по причине того что ударные импульсы могут возникать при разных дефектах;
- метод используется для контроля, а не для диагностики ЭМ;
- отсутствует возможность прогнозирования срока службы машины;
- сложно применять данный метод для низкооборотных подшипников, по причине образования ударных импульсов у бездефектных подшипников, в силу того что в масляной пленке возникают разрывы.

Для метод ударных импульсов существуют прибор приблизительно такого формата, переносной прибор – тестер ударных импульсов BALTECH VP-3450. г. Санкт–Петербург, Россия, технические характеристики прибора представлены в таблице 4.

Таблица – 4 Технические характеристики прибора «BALTECH VP-3450»

Условия окружающей среды	Относительная влажность:<80%
Измеряемые параметры	ударные импульсы
Диапазон измерений	Минус 9 – 99 dB
Разрешение	1 dB
Погрешность измерений	± 2 dB
Дисплей	ЖКД
Питание	6 x 1.5V LR6 элементов питания

Фирмы производители, представляющие данную категорию приборов на рынке продукции: Fluke Corporation, г. Эверетт (штат Вашингтон), США (Виброметр 1810); АСОЕМ, г. Лимонест, Франция, (Виброанализатор OneproD FALCON); Балтех Пкф, г. Санкт-Петербург, Россия (Виброметр CSI 212; Виброанализатор CSI 2140); ТЕХНЕКОН, г.Пермь, Россия (Измеритель вибрации СД–23); BALTECH, г. Санкт-Петербург, Россия (Тестер ударных импульсов BALTECH VP-3450).

2.4 Вейвлет – анализ

Вейвлет – преобразование выделяют как отдельный метод обработки вибросигналов. Существует вейвлет – анализ двух видов: дискретный и непрерывный, который применяется соответственно для непрерывных и дискретных сигналов. Анализ сигнала происходит через разложение базисных функций, полученных путем сжатия, растяжения, сдвига некоторого образца. Такая функция получила название – анализирующего вейвлета. Теория вейвлетов позволяет эффективно решать практические задачи. Вейвлет преобразует одномерные сигналы, в отличие от преобразований Фурье, тем самым обеспечивая двумерное развертывание, частота и координаты рассматриваются, как независимые переменные это позволяет производить анализ сигнала в двух пространствах. Вейвет также называют –

математическим микроскопом. Обработка информации производится в таких программах как: Matlab, MathCad, Mathematica, LabView.

Достоинство метода заключается в высокой информативности.

Недостатки данного метода:

- трудоемкость;
- сложность представления результатов;
- требуется сложное техническое оборудование.

Прибор для данного метода выпускаются как виброанализатор. Как пример данного прибора «Виброанализатор CORVET», ДИАТЕХ, г.Москва, Россия. Технические характеристики представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики «Виброанализатор CORVET»

Частотный диапазон	0,3 – 32000 Гц
Кол-во каналов	2 аналоговых синхронных
Датчики (аналоговый вход)	ВП-хх, CSP-ххх, ICP, зарядовые, подключение к штатной аппаратуре (Bently Nevada, Metrix, SKF, ИВ-Д-ПФ и др.)
Отметчики (тахо-вход)	Оптический, лазерный, вихретоковый, подключение к штатным тахометрам
Динамический диапазон	до 109 дБ
Единицы измерения	м/с ² ; мм/с; мкм
Базовые измерительные функции	Общий уровень, пик-фактор, волна, орбита, спектр, огибающая, спектр огибающей, разгон/выбег, вейвлет.
Основные режимы работы	Анализатор вибрации, сборщик данных (функции периодического мониторинга), балансировочный прибор
Разрешение спектра	3200, 6400, 12800, 25600 линий
Длина волны	8192, 16384, 32768, 65536 точек
Рабочая температура	Минус 20...плюс 50 °С
АЦП	2х24 бита
Обмен с ПК	USB

Фирмы производители представляющие продукт данной категории: «Виброанализатор CORVET», ДИАТЕХ, г.Москва, Россия; Fluke Corporation, г. Эверетт (штат Вашингтон), США «Виброанализатор Fluke 41»; АСОЕМ, г. Лимонест, Франция, «Виброанализатор One 24–366 FALCON»; ТЕХНЕКОН, г.Пермь, Россия «Виброанализатор STD».

2.5 Анализ общего уровня вибрации

Метод основан на измерении общего уровня вибрации. В данном методе измеряются в широких частотных диапазонах следующие параметры: пиковое или среднеквадратичное значение вибросмещения, виброускорения, виброскорости механических колебаний. На рисунке 7 изображен спектр колебаний и общий уровень или амплитуда, измеренные в широкополосной полосе.



Рисунок 7 – Спектр колебаний (пунктир), общее значение амплитуды общий уровень (сплошная линия)

В данном методе основную информацию получают при измерении общего уровня колебаний, за счет нескольких составляющих или одной доминирующей, например составляющая частоту вращения. Такая составляющая является показательной, но не исключает возникновения других,

за счет развивающихся дефектов, уровень которых может быть ниже уровня доминирующей. Следует, что данный вид измерения будет не точным по отношению определения технического состояния машины или оборудования. Применение данного метода направленно в большей степени на контроль чем на мониторинг и детальную диагностику.

Для проведения измерения по методу общей вибрации подходят такие приборы как виброанализатор и виброметр, чувствительный элемент прибора может быть исполнен как из пьезоэлектрических, индукционных, тензорезистивных и вихритоковых преобразователей. Пример прибора для измерения вибрации «BALTECH CSI 2140» г. Санкт–Петербург, Россия.

Таблица 8 – Основные технические характеристики «Виброанализатор BALTECH CSI 2140»

Единицы измерения	м/с ² ; мм/с; мкм
Частотный диапазон	От 0 до 80000Гц
Разрешение спектра	3200, 6400, 12800, 25600 линий
Количество параллельных каналов	4
Тахометр	Лазерный
Обмен с ПК	USB

«Fluke Corporation», г. Эверетт (штат Вашингтон), США (Измеритель вибрации Fluke 810); «АСОЕМ», г. Лимонест, Франция, «Виброанализатор ОпергоD FALCON); «Балтех Пкф», г. Санкт-Петербург, Россия (Виброанализатор CSI 2125; Виброанализатор CSI 2140); «ТЕХНЕКОН», г. Пермь, Россия (Виброанализатор STD-3300).

2.6 Метод прямого спектра

Принцип метода заключается в анализе данных полученных с помощью виброанализатора, данными несущими, информационный характер является частотный спектр.

На автоспектрах наблюдаются амплитудные всплески, несущие диагностическую информацию, так как их вызывают дефекты

диагностируемого оборудования. Каждому дефекту соответствует своя гармоника, которая вычисляется в зависимости от скорости вращения оборудования и его кинематики.

Присутствие в спектре гармоник определенного типа свидетельствуют о возникновении соответствующего дефекта, амплитуда гармоник информирует о степени развития дефекта.

Достоинством данного метода:

- помехозащищенность;
- информативность.

Недостатки можно выделить следующего порядка:

- не возможность выявить зарождающийся дефект;
- аппаратные средства исполнения имеют высокую себестоимость.

Прибор такого типа представляет «анализатор вибраций BALTECH VP-3470», г.Санкт – Петербург, Россия; технические характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные технические характеристики анализатора вибраций «BALTECH VP-3470»

Типы входов	ICP акселерометр (два канала), датчик оборотов (один канал)
Типы преобразователей	Акселерометр, датчик оборотов, стробоскоп
Спектральный анализ	Граничные частоты, Гц: 00, 500, 1000, 2000, 5000, 10000
Частотный диапазон, Гц	0,5 – 10000
Максимальная неравномерность АЧХ, %	±5
Единицы измерения амплитуды	дБ; g; м/с ² ; мм/с; мкм

Среди производителей данного типа оборудования себя зарекомендовали следующие фирмы: «Bently Nevada, Inc.», США (SCOUT220-IS и COMMTEST220; Виброанализаторы портативные модели Scout 100 и Scout 140); ООО «НПЦ Динамика», г. Омск (Виброанализатор 8710); ООО «Диамех 2000», г. Москва (Виброанализатор «ТОПАЗ-В»); Фирма «Brueel & Kjaer», Дания (Виброанализатор 2526).

3 Выбор метода и средства измерений вибрации электрических машин

Произведя анализ методов измерения вибрации, и выявив оптимальные варианты, была составлена таблица 10 – «Оценка методов», в которой указаны особо значимые параметры. С оценкой параметров по 4 бальной системе.

Таблица 10 – Оценка методов

Оценка метода				
Параметры	ПИК – фактор	Прямой спектр	Спектр огибающей	Ударные импульсы
Диагностика зарождающегося дефекта	0	2	4	3
Диагностика глубоких дефектов	1	2	4	4
Оценка состояния по результатам однократных измерений	2	3	4	4
Помехозащищённость	1	2	4	3
Аппаратурно реализуется простыми средствами виброконтроля, себестоимость относительно не высокая	4	3	2	4
Аппаратурные средства спектрального анализа, сложны в применении, требуют специального обучения, дороги для массового потребителя	0	3	4	0
Разделение дефекта по кинематике и смазки (подшипник)	0	0	0	3
Средний балл:	1	1,8	4,75	2,62

Проанализировав данные таблицы можно говорить об оптимальном методе контроля и диагностики вибрации.

Из представленных вариантов самый оптимальным является – метод спектрального анализа огибающей.

Для данного метода контроля можно использовать анализатор вибраций. В Таблице 11 представлена сравнительная характеристика основных вибропреобразователей : пьезоэлектрический, пьезорезистивный, емкостной.

Таблица – 11 Сравнительная характеристика вибропреобразователей

Характеристика	Пьезоэлектрический преобразователь	Пьезорезистивный преобразователь	Емкостной преобразователь
Чувствительность диапазона, g	От 0,05 до 100000	От 0,13 до 50	От 20 до 1000
Динамический диапазон, мВ/g	От 0 до 100000	От 0 до 60000	От 2 до 100
Частотный диапазон, Гц	От 0,5 до 30000	От 0 до 20000	От 0 до 1500
Температурный диапазон, °С	От –55 до +266	От –54 до +121	От – 54 до +121

Проанализировав табличные данные можно судить о том, что приборы с пьезоэлектрическим преобразователем, наиболее выгодны в исполнении, стойки к температурным показателям, имеют активный характер преобразования, не требует дополнительного источника питания, хоть и уступают пьезорезистивным преобразователям в чувствительности и динамическом диапазоне. Датчики с пьезоэлектрическими ЧЭ считаются универсальными и более распространенными в применении.

Можно сделать вывод что, оптимальным вариантом для ИИС и приборов является применение пьезоэлектрического преобразователя.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Б31	Голойденко Анна Сергеевна

Тема: Вибродиагностика электрических машин

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Точного приборостроения
Уровень образования	бакалавр	Направление / специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение предпроектного анализа: оценка потенциальных потребителей, проведение SWOT-анализа, анализ конкурентных технических решений, инициация проекта
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и результатов, организация структуры проекта
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование этапов работы
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Матрица SWOT

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Спицын Владислав Владимирович	К.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б31	Голойденко Анна Сергеевна		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Объектом исследования ВКР является система вибродиагностики электрических машин. В ходе научно-исследовательской работы требуется провести анализ существующих методов и средств измерения вибрации, изучить стандарты, определяющие требования к вибродиагностики электрических машин, измерительным системам и средствам измерений, и на основе полученных данных выявить наиболее подходящую измерительную систему для практического применения.

Определение наиболее экономически эффективного метода измерения вибрации является целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

На каждом промышленном предприятии постоянно проводятся различные мероприятия, направленные на повышение эффективности методов ремонта оборудования. В современных условиях только средствами вычислительной техники можно решать вопросы сокращения времени простоя и внезапных отказов оборудования.

Исследуемая система так же направлена на повышение эффективности методов ремонта оборудования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком выполняемой работы являются предприятия осуществляющие работу напрямую связанную с электрическими машинами, спектр предприятий многообразен от столярной мастерской до горнодобывающей промышленности.

Сегментировать рынок можно по размеру, количеству и местоположению мест производства, по структуре собственности.

6.2 Анализ конкурентных технических решений

На данный момент на рынке наиболее популярны пьезоэлектрические акселерометры, поскольку, по сравнению с датчиками других типов, они имеют больший динамический диапазон и более равномерную АЧХ.

Таблица 12 – Метрологические и технические характеристики. Пьезоэлектрический акселерометр icp модель 603C01, ООО «ВиброТест», Россия

Характеристика	Значение
Чувствительность	100 мВ/г; 10,2 мВ/(м/с ²)
Диапазон измерения	± 490 м/с ²
Рабочий диапазон частот (±3 дБ)	от 0,5 Гц до 10000Гц
Резонансная частота	25000Гц
Рабочий диапазон температур	от минус 54 до плюс 121°С
Степень защиты корпуса от внешних воздействий	IP68
Масса	51 г

Таблица 13 – Метрологические и технические характеристики Виброметры лазерные RSV-150 фирмы «Polytec GmbH», Германия

Наименование характеристики	Значение
Диапазоны измерений виброскорости (пик), мм/с: RSV-150-B: RSV-150-M	св. 0 до 1000 св. 0 до 24500
Диапазоны измерений виброперемещения (пик-пик), мм: RSV-150-B RSV-150-M	св. 0 до 2000 св. 0 до 245; св. 0 до 7840
Диапазоны рабочих частот, кГц: RSV-150-B RSV-150-M	св. 0 до 25 св. 0 до 2000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения виброскорости в диапазоне измерений от 0,5 до 400 мм/с, в диапазоне рабочих частот св. 0 до 20000 Гц и в рабочем диапазоне температур, %	±1

Продолжение таблицы 13

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения виброперемещения в диапазоне измерений от 0,1 до 100 мм, в диапазоне рабочих частот св. 0 до 20000 Гц и в рабочем диапазоне температур, %	±1
Длина волны лазера привязки, нм	532
Мощность излучения лазера привязки, не более, мВт	1
Длина волны измерительного лазера, нм	1550
Мощность излучения измерительного лазера, не более, мВт	10
Класс безопасности лазерного излучения по ГОСТ Р 50723-94	2 (безопасный для глаз)
Условия эксплуатации: диапазон рабочих температур, °С	от 5 до 40
Масса, кг, не более: контроллер; сенсорная головка RSV-I-150	6 8
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения виброскорости в диапазоне измерений от 0,5 до 400 мм/с, в диапазоне рабочих частот св. 0 до 20000 Гц и в рабочем диапазоне температур, %	±1

Таблица 14 - Метрологические и технические характеристики. Индукционный датчик вибрации VSA004, «Ifm electronic GmbH», Германия

Технические характеристики	
Исполнение	для подключения к внешней системе диагностики VSE
Рабочее напряжение, В	9 DC
Потребление тока, мА	< 15
Класс защиты	III
Аналоговый выход по току, мА	От 0 до 10
Количество осей измерения	1
Диапазон измерения вибрации, g	25
Частотный диапазон, Гц	От 01 до 10000
Принцип измерения	Емкостный
Температура окружающей среды, °С	От – 30 до + 100
Степень защиты	IP 67
Вид датчика	Микроэлектромеханическая система (MEMS)

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности.

Таблица 15 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Энергоэкономичность	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
5. Безопасность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
6. Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7. Простота эксплуатации	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28

Продолжение таблицы 15

4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5	4	4	0,65	0,52	0,52
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
6. Наличие сертификации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
ИТОГО	1	67	58	61	4,84	4,17	4,39

где Бф – Пьезоэлектрический Акселерометр іср модель 603C01; Бк1 – Виброметр лазерный RSV-150; Бк2 – Индукционный датчик вибрации VSA004

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i, \quad (24)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Опираясь на полученные расчеты, можно сделать вывод что, метод основанный на пьезоэлектрических элементах наиболее востребован и применим в условиях производства на предприятиях.

Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как наличие дополнительных исследований для получения достоверных результатов, себестоимость существенно выше, недостаточно удобно в эксплуатации, необходимость в более регулярной поверке приборов, а так же меньшем сроке эксплуатации приборов.

6.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение

целесообразности вложения денежных средств в научно- исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений.

Таблица 16 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,05	98	100	0,98	4,90
2. Удобство в эксплуатации	0,05	93	100	0,93	4,65
3. Помехоустойчивость	0,04	95	100	0,95	4,75
4. Энергоэкономичность	0,1	91	100	0,91	3,64
5. Безопасность	0,1	89	100	0,89	8,90
6. Надежность	0,1	85	100	0,85	8,50
7. Простота эксплуатации	0,05	95	100	0,95	4,75
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	95	100	0,95	9,50
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1.Конкурентоспособность продукта	0,05	70	100	0,70	3,50
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	70	100	0,70	3,50
3. Цена	0,07	85	100	0,85	5,95
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	85	100	0,85	11,05
5. Послепродажное обслуживание	0,6	98	100	0,98	5,88
6. Наличие сертификации	0,1	85	100	0,85	8,50
ИТОГО	1	1234	-	12,34	87,97

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i * B_i = 87,97, \quad (25)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Так как значение показателя P_{cp} получилось 87,97, то такая разработка считается перспективной.

6.4 SWOT – анализ

SWOT представляет собой комплексный анализ проекта.

SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться. Он проводится в несколько этапов. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны метода с пьезоэлектрическим ЧЭ</p> <p>С1. Метод весьма точный, но требует непосредственный контакт с объектом.</p> <p>С2. Высокотемпературные конструкции для жёстких условий эксплуатации.</p> <p>С3. Низкое энергопотребление</p> <p>С4. Малые массы и габариты</p>	<p>Слабые стороны метода с пьезоэлектрическим ЧЭ:</p> <p>Сл1. Невозможность применения приборов в недоступных для обслуживания зонах и при наличии вредных влияющих факторов</p> <p>Сл2. Узкий частотный диапазон (низких частот)</p> <p>Сл3. Наличие погрешности при неправильной фиксации элементов измерительного прибора.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 17

Возможности: В1. Увеличение доли рынка за счет вытеснения конкурирующих методов В2. Выход на международные рынки В3. Разработка более совершенных приборов В4. Разработка универсальных приборов	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности» 1. Выход на новые рынки за счет экономической и ресурсосберегающей эффективности 2. Увеличение темпов производства приборов за счет сниженной себестоимости и малых затрат на логистику	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» 1. Появление новых приборов с оптимальным набором функций диагностики, с пьезочувствительными элементами 2. Повышение квалификации персонала, работающего с измерительными приборами 3. Доступность и простота использования людям без специального образования и навыков.
Угрозы: У1. Появление новых технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» 1. Продвижение метода как апробированного и стабильного. 2. Выход на рынок потребления за рамки ограничения по сфере применения. 3. Возможность массового использования	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы» 1. Повышение квалификации персонала, работающего с измерительными приборами 2. Модификация приборов для соответствия требованиям государства

Произвести соответствия сильных и слабых сторон метода, внешним условиям окружающей среды. Данные соответствие или несоответствие помогут выявить потребность в проведении стратегических изменений. Для этого построим интерактивные матрицы проекта (таблицы 18-21).

Таблица 18 – Интерактивные матрицы проекта

Сильные стороны					
Возможности		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	–	+
	B3	+	+	–	–
	B4	+	–	–	–

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C2C3C4, B2C1C2C4, B2C1C2C4.

Таблица 19 – Интерактивные матрицы проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	–	–	+	–
	B2	–	–	+	–
	B3	+	+	+	+
	B4	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B4Сл1Сл2Сл3Сл4.

Таблица 20 – Интерактивные матрицы проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	–	–
	У2	+	+	+	–
	У3	–	–	–	–
	У4	–	–	–	–

При анализе интерактивной таблицы, можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1C1C2, У2C1C2C3.

Таблица 21 – Интерактивные матрицы проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	–	–	–	–
	У2	–	–	–	–
	У3	+	+	–	–
	У4	0	0	0	0

При анализе интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У3Сл1C2.

6.5 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 22 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	Научный руководитель
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	Студент
	8	Анализ используемых средств и методов	Студент
	9	Систематизация и оформление информации	Студент
Оценка полученных результатов	10	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	11	Заключение	Научный руководитель, студент

Для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта строится график на основе таблицы 23 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$, – коэффициент календарности. кал к

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$ дней);

$T_{\text{Вых}}$ – выходные дни;

$T_{\text{Пр}}$ – праздничные дни;

$T_{\text{Вых}} + T_{\text{Пр}} = 118$ дней

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47$$

Таблица 23 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

№	Вид работ	Исполнители	Т к, кал. дней	Продолжительность выполнения работ								
				Март		Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель										
2	Анализ актуальности темы	Научный руководитель										
3	Поиск и изучение материала по теме	Студент										
4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент										
5	Календарное планирование работ	Научный руководитель, студент										
6	Изучение литературы по теме	Студент										
7	Подбор нормативных документов	Студент										
8	Анализ используемых средств и методов	Студент										
9	Систематизация и оформление информации	Студент										
10	Анализ результатов	Научный руководитель, студент										
11	Заключение	Научный руководитель, студент										



– студент



– научный руководитель

Вывод

В ходе разработки раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен анализ потенциальных потребителей результатов исследования и конкурирующих технических решений, также определен наиболее экономически эффективный метод измерения вибрации электрических машин – пьезоэлектрический.

Произведена оценка качества новой разработки и ее перспективность на рынке, что позволяет принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно- исследовательский проект.

Проведен комплексный SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Определены сильные и слабые стороны проекта. Выявлены возможности и угрозы для реализации проекта, которые могут появиться в его внешней среде, в том числе выявлены соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Также определен перечень этапов, работ и распределение исполнителей и составлен календарный план-график проведения НИОКР по теме.